

Nuevo sistema de fragmentación por Alto Voltaje

**Susana de Elío de Bengy¹, Angel S. Rodríguez-Avello¹, Alfonso Bonilla Bonilla¹,
Isabel Arribas Rosado²**

¹ Dpto. de Ingeniería de Materiales. Universidad Politécnica de Madrid. ETSI Minas. Alenza 4, 28003 Madrid; susana.elio@gmail.com; angel.rodriguezavello@upm.es; alfonso.bonilla@upm.es

² Dpto. de Ingeniería Geológica. Universidad Politécnica de Madrid. ETSI Minas. Alenza 4, 28003 Madrid. isabelkitina.arribas@upm.es

Palabras clave: Mineralogía, fragmentación, alto voltaje, liberación, depuración cuarzo, flotación.

Introducción

La caracterización de una muestra representativa de un mineral proporciona los datos cualitativos y cuantitativos sobre las especies contenidas. Pero para investigar el comportamiento de la especie valiosa (“mena”) en el procesamiento mineralúrgico, no bastan los análisis químicos, sino que es preciso determinar también el tamaño del grano, su forma y textura.

El estudio detallado de la denominada “mineralogía para el proceso”, permite conocer el tamaño de liberación de las distintas especies, y en consecuencia, el sistema de conminución aplicable para no producir excesiva sobremolienda que lleve a la producción de finos difíciles de concentrar.

La economía y eficiencia de los procesos de separación y concentración mineralúrgica por sistemas físicos, como son los gravimétricos (jigs, espirales, mesas, medios densos), o fisico-químicos como es la flotación e incluso la hidrometalurgia, están fuertemente influenciadas por la mineralogía del todo-uno a tratar en la planta de procesamiento. Y no solo en las etapas de concentración, sino también en el acondicionamiento de los productos finales (concentrados y estériles) mediante sistemas de separación sólido-líquido (sedimentación, filtración y secado), cuyo comportamiento viene definido por su caracterización mineralógica.

Es por eso que desde las fases iniciales de la exploración, los sondeos representativos deben ser estudiados mineralógicamente para predecir la viabilidad del yacimiento.

En el presente informe se describe la aplicación de un nuevo sistema de fragmentación por pulsación eléctrica de Alto Voltaje (HV), como alternativa a los tradicionales de trituración y molienda que utilizan fuerzas de compresión, impacto o abrasión.

Sistemas de fragmentación convencional

En la fragmentación tradicional, las fuerzas que se aplican varían desde las etapas iniciales de rotura con explosivos, en los que actúan fuerzas de tracción, hasta las últimas de molienda y micronización, en las que la abrasión produce los tamaños más finos. En los pasos intermedios de la conminución, como son el machaqueo y la trituración en conos y rodillos, la compresión es la fuerza actuante, en tanto que en los impactores para minerales blandos, la fragmentación se produce por estallido (fig.1).

Existen también sistemas mixtos como la molienda autógena o semiautógena (AG/SAG) en la que se combinan los efectos de la abrasión y el impacto.



Figura 1: Fuerzas que actúan en los diferentes sistemas de fragmentación

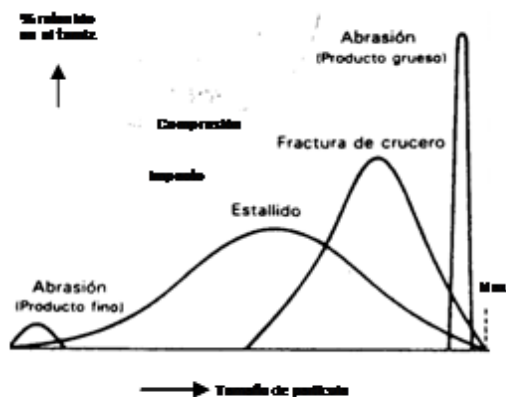


Figura2: Distribución de tamaños según el sistema aplicado

Las curvas de distribución de tamaños resultantes en cada caso (fig.2) nos marca el sistema que debemos seleccionar de acuerdo con las necesidades del proceso de separación y concentración subsiguiente.

En cuanto al consumo de energía en la reducción de tamaño, el gráfico de Hukki (tabla I) nos muestra el aumento que se produce a medida que se reduce el tamaño del producto final.

Tabla1: Energía consumida en la reducción de tamaños (Hukki)

Etapas	Rango granulométrico	Consumo kWh/t
Arranque por explosivos	$\geq 1 \text{ m}$	—
Trituración 1ª (Machaqueo)	1 m – 100 mm.	0,35
Trituración 2ª	100 mm. – 10 mm.	0,60
Trituración 3ª (Molienda gruesa)	10 mm. – 1 mm.	1,6
Molienda	1 mm. - 100µm.	10
Molienda fina	100 µm. - 10 µm.	> 25
Micronización	10 µm - 1 µm	75

Por tanto, es importante considerar este gasto de energía para el estudio de la viabilidad del proyecto de explotación de un mineral específico.

El sistema de fragmentación por Alto Voltaje desarrollado por el Centro de Investigación de Karlsruhe, utiliza la energía de un generador de impulsos cargado continuamente por una fuente de suministro de Alto Voltaje. La descarga de hasta 400 kV se produce por medio de un electrodo introducido en el reactor que contiene la materia sólida que se desea fragmentar estando ésta sumergida en un líquido dieléctrico, y el recipiente conectado a tierra (fig.3). El ciclo de carga y descarga se repite con una determinada frecuencia hasta llegar al número específico de impulsos.

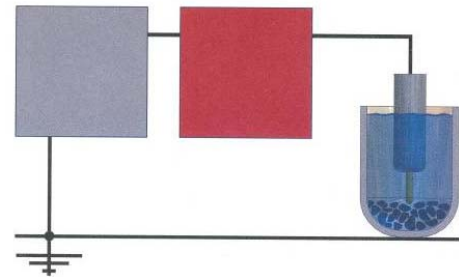


Figura 3: Principales componentes del sistema de fragmentación por Alto Voltaje: (1) Suministro HV, (2) Generador de impulsos, (3) Recipiente con la muestra en agua.

Los finos canales de plasma de hasta 1-2 μm y las ondas de descarga se propagan a temperaturas de hasta 10.000°C por el sólido y causan la disgregación (fragmentación) a lo largo del contorno que bordea las partículas de cada especie, así como por las inclusiones y fracturas. Prácticamente, el efecto es similar al que producen los explosivos químicos.

Los materiales expuestos a la tensión eléctrica muestran diferentes fuerzas de rotura en función de la pulsación y el tiempo que tarda el Alto Voltaje en llegar a su máximo (fig.4). Por ejemplo, cuando es menor de 500 ns, la fuerza de rotura del agua excede a la de la mayoría de los clásicos aislantes eléctricos (cerámica, vidrio, etc), en cuyo caso la descarga ocurre primero en los sólidos.

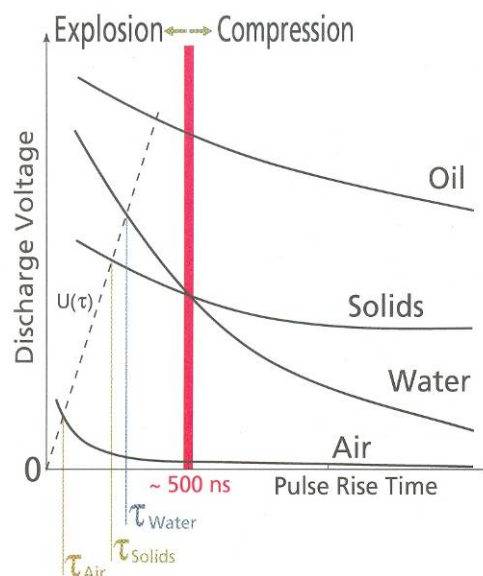


Figura 4: Efecto de la tensión eléctrica en función del tiempo de aplicación en distintos medios dieléctricos

Como consecuencia, en el mineral se produce de forma selectiva la liberación morfológicamente intacta de los granos de ganga y mena (fig.5).

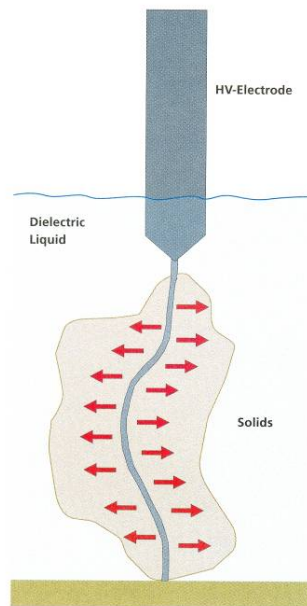


Figura 5: Efecto del Alto Voltaje en la disgregación del sólido

Se entiende, por tanto, que con este sistema de liberación de partículas, se reduce notablemente la producción excesiva de finos.

La tecnología SelfFrag

El concepto de fragmentación HV ha sido puesto a punto por SelfFrag AG (division del grupo Ammann), quien asimismo lo comercializa a nivel global, en forma de equipos de investigación para laboratorio y plantas piloto.

El equipo de laboratorio ha sido diseñado para la fragmentación selectiva de minerales, sondeos geológicos y otros materiales, con muestras de 1.000 gramos pretituradas, siendo el tamaño máximo unitario de 50x50x50 mm.

Se trata de un diseño compacto, fácil de instalar en el ambiente adecuado de un laboratorio de investigación (fig.6).

- Dimensiones: 200x800x200 cm
- Peso: 1.700 kg
- Potencia: 12 kVA, 400 V, trifásico
- Circulación de gas: Nitrógeno (calidad técnica)
- Agua necesaria: 5 litros por muestra



Figura 6: Unidad selfFrag de Laboratorio

Componentes

Está constituido por una unidad de producción del Alto Voltaje, un generador de impulsos, la cámara de proceso y un alimentador de carga y descarga al reactor. La cámara de proceso contiene el electrodo envuelto por otra carcasa de diseño especial con protección anti-ruido y de emisiones electromagnéticas. El conjunto de los componentes están aislados con aceite y gas y protegidos con paredes de chapa de acero. Para asegurar la operación, los componentes HV van protegidos por diversos contactores.

Funcionamiento

El sistema de operación es en forma discontinua (batches).

En primer lugar se carga el reactor con la cantidad de muestra adecuada, y después se rellena con agua. A continuación se coloca en la placa del alimentador para la carga, y se cierra la puerta.

Una vez establecidos sobre un panel los parámetros de funcionamiento relativos a potencia y número de impulsos, el operador puede comenzar el proceso de fragmentación.

El proceso se completa entre 10 y 120 segundos.

Por último, la placa del alimentador baja el reactor a la base de carga, se cierran los interruptores de seguridad y ya se puede abrir la puerta del equipo para recoger el recipiente con la muestra fragmentada (fig. 7).

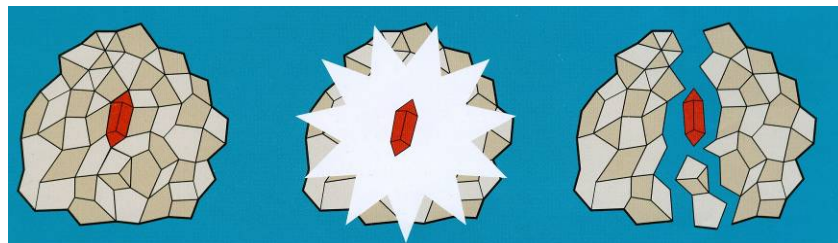


Figura 7: Fragmentación de la muestra

Ventajas

Las ventajas de operar con esta unidad de laboratorio, además de facilitar el proceso de análisis de la muestra en un corto espacio de tiempo, son las siguientes:

- Fractura predominante por el contorno de los granos.
- Liberación de partículas intactas de ganga y mena, o separación de micro fósiles.
- Recuperación de fragmentos mono minerales.
- Obtención de superficies limpias en las fracciones liberadas.
- Deterioro mínimo de las especies separadas.
- Buena recuperación de cada fracción

- Conservación de la curva de distribución granulométrica.
- Rangos estrechos de granulometría y definición de valor principal.
- Una sola etapa de fragmentación: De roca a micro-partículas.
- Proceso semiautomático programable, de corta duración.
- Mínima producción de finos < 50µm
- Sin contaminación por polvo.
- Sin partes móviles, ni desgastes.
- Fácil limpieza.

Campos de aplicación

- Investigación geológica
- Exploración de yacimientos
- Análisis de composición de materias primas
- Descontaminación de impurezas
- Tratamiento de residuos (escorias, cenizas, etc)

Aplicaciones

- Recuperación de especies minerales para análisis geoquímicas y cronológicos
- Liberación de componentes
- Caracterización de minerales y rocas industriales
- Liberación de micro fósiles

Unidad piloto

El selFrag Explorer es una planta para fragmentación HV de hasta 1.000 ks/h en continuo (fig. 8).

Se trata de un diseño con la cámara de procesamiento de tipo modular y posibilidad de ajuste de los parámetros específicos.

Se ofrece para un rango amplio de aplicaciones en el campo de la exploración y desarrollo de procesos (Fig.9).



Figura 8: Unidad piloto selFrag Explorer



Figura 9: Liberación de una partícula de Pt en un mineral de Cromita

Ejemplo de aplicación: Depuración de un mineral de cuarzo

A continuación se presentan los resultados del estudio de una serie de venas de cuarzo que se encuentran en la provincia de Salamanca. La erosión de estas venas de cuarzo resultan en una serie de formaciones sobre el terreno con diversas alturas, que localmente se conocen como “sierros”. Aunque estas venas monominerales de cuarzo suponen una gran reserva de sílice, su potencial económico para la producción de cuarzo con aplicaciones en el campo tecnológico no ha sido considerado hasta el presente.

Sin embargo, actualmente se está desarrollando un estudio de investigación encaminado a probar la viabilidad de su explotación como fuente de materia prima para la generación de un cuarzo de gran pureza (“farming”), similar al que se utiliza con este fin en Estados Unidos y Brasil.

Objetivo

La finalidad de esta investigación es comparar las ventajas de tipo económico, rendimientos y mejora medioambiental cuando en su fragmentación se utilizan sistemas convencionales de trituración y molienda, frente al nuevo sistema de fragmentación HV.

Los autores de esta ponencia tuvieron la ocasión de asistir a un taller de SelFrag celebrado en el congreso Goldschmidt 2009, en Davos (Suiza), donde se fragmentó por HV la muestra de cuarzo objeto de este estudio. Posteriormente, en el Laboratorio de Menas de la ETSI Minas de Madrid, se realizó el resto del trabajo de investigación.

Parámetros base de comparación:

- Curva de distribución granulométrica resultante en la conminución
- Análisis de liberación de las especies contaminantes
- Producción de finos
- Rendimiento de los procesos de depuración aplicables

Caracterización de la muestra

Geológicamente se trata de un filón de cuarzo constituido por venas hidrotermales asociadas a fracturas móviles.

Mineralógicamente, la especie principal es cuarzo, con contenido medio del 97%. Las impurezas incluyen diversas especies minerales que contienen Al, Ca y K, normalmente en forma de feldespatos y Fe en forma de óxidos.

La mayor parte de dichas impurezas son partículas micrométricas e inclusiones fluidas que se acumulan en el interior de las grietas de la estructura cuarcítica.

La liberación de estas impurezas por fragmentación es posible, pero la finura requerida supone altos costos energéticos y de producción, así como problemas medioambientales.

Procesamiento de la muestra

El procesamiento de esta materia prima por procedimientos convencionales, incluye las etapas siguientes:

1. Fragmentación con machacadora de mandíbulas a <4 mm
2. Clasificación granulométrica en rangos 4-2-1-0,5 y $<0,5$ mm
3. Molienda a $<0,5$ mm
4. Análisis de liberación en rangos 0,5-0,16-0,04 y $<0,04$ mm
5. Atrición y acondicionamiento en forma de pulpa de la fracción 0,5-0,04 mm,
6. Flotación selectiva de las impurezas: Óxidos y minerales pesados, micas y feldespatos
7. Separación magnética de las fracciones 0,5-0,016 mm y 0 16-0,04 mm
8. Lixiviación ácida, para disolución del Fe remanente.

El procesamiento utilizando la fragmentación HV en el equipo SelFrag de laboratorio, reduce las etapas 1, 2 y 3 a una sola, manteniéndose idénticas las restantes.

Resultados

En el gráfico de la fig. 10 se puede observar las curvas granulométricas de los productos molidos por ambos sistemas.

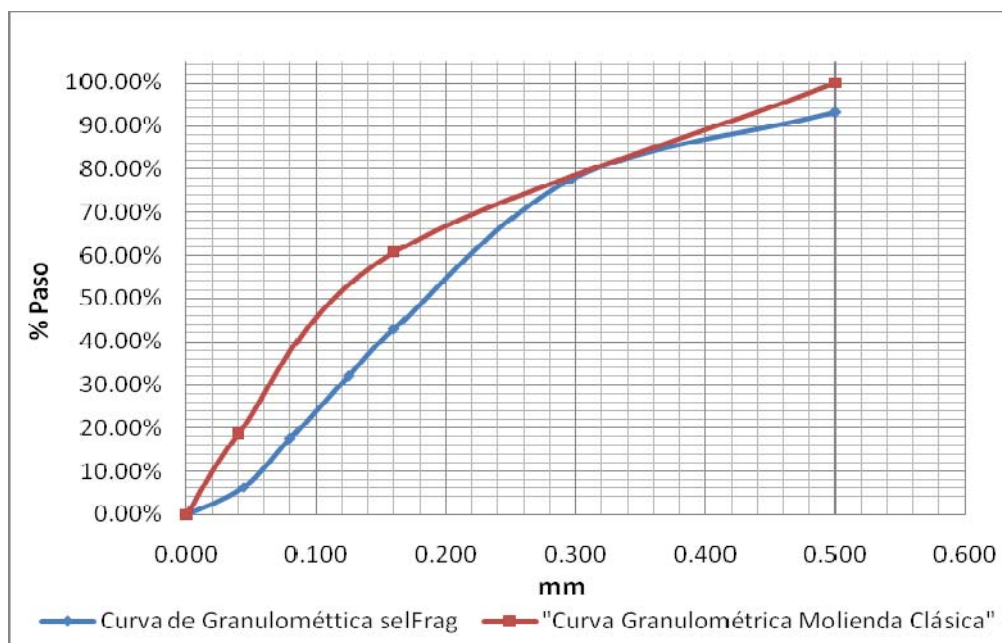


Figura 10: Curvas granulométricas

Resulta notable la menor producción de finos en el caso de la fragmentación HV, frente a la molienda clásica.

En la tabla II se observa esta diferencia en cuanto a producción de finos < 40 μm .

Tabla II: Producción de finos en la molienda clásica y por HV

Fracción granulométrica (mm)	% mol. clásica	% frag. HV
0,04 – 0,5	81,25	97,30
< 0,04	18,75	2,70

La menor producción de polvo supone no solo la menor repercusión medioambiental de esta fase de conminución, sino una recuperación mayor en peso de la fracción apropiada para tratar en las fases de los procesos de depuración posterior.

Depuración por Separación magnética

En ambos casos se procedió al tratamiento en seco de dos fracciones granulométricas diferentes, utilizando separadores magnéticos de alta intensidad, con imanes permanentes e inducidos respectivamente.

La comparación de la recuperación de los no magnéticos, nos indica la mejor liberación de los contaminantes en el caso de la fragmentación HV (Tabla III)

Tabla III: Depuración por Separación Magnética

Fracción granulométrica (mm)	Magnéticos % Clas./ HV	No magnéticos % Clas./ HV
0,50 - 0,016	1,39 / 1,10	98,6 / 98,9
0,016 – 0,04	1,21 / 0,90	98,74 / 99,1

Depuración por flotación

Los ensayos se realizaron de forma idéntica:

- Acondicionamiento en pulpa de alta densidad
- Dilución y flotación de impurezas en dos fases

Los resultados se expresan en la tabla IV, comparando ambos resultados a partir de molienda clásica y fragmentación HV

Tabla IV: Depuración por flotación

Material	Caracterización	% Mol. Clásica	% Frag. HV
Flotado 1	Óxidos, minerales pesados y micas	0,32	4,90
Flotado 2	Feldespatos	0,80	4,00
Residuo	Cuarzo	98,80	91,10

Esta diferencia, nos lleva a la presunción de una mejor liberación de los contaminantes con el nuevo sistema de fragmentación.

Lixiviación ácida

No se apreciaron mejoras con este tratamiento.

Conclusiones

El nuevo sistema de Fragmentación HV con la tecnología selFrag resulta muy interesante en la depuración de minerales industriales en los que los contaminantes se encuentren tamaños de liberación muy fina, por las ventajas siguientes:

- Mejora el grado de liberación con molienda más gruesa
- Menor potencia utilizada
- Menor impacto medioambiental
- Mejora los procesos de tratamiento